

Influence of Leaf Nutrition of Some Micronutrients on Absorption of *Mentha* Plant under Soil Phosphorus Deficiency

MASOUMEH KHARAZMI¹, NAYER MOHAMMADKHANI^{1*}, MOSLEM SERVATI²

1. Department of Medicinal Plants, Shahid Bakeri High Education Center of Miandoab, Urmia University, Urmia, Iran

2. Department of Soil Science, Shahid Bakeri High Education Center of Miandoab, Urmia University, Urmia, Iran

(Received: Dec. 2, 2018- Revised: Aug. 13, 2019- Accepted: Aug. 13, 2019)

ABSTRACT

Phosphorus is one of the most used fertilizer macronutrients and in calcareous soils of Iran, its absorption is limited. On the other hand, considering the problems caused by the soil use of micronutrients, it is possible to modify the effects of phosphorus deficiency by spraying micronutrients. This study was conducted as factorial in a completely randomized design in three replications to investigate the effect of leaf nutrition of micronutrients (iron, zinc and copper) on the absorption of nutrients of *Mentha aquatica* L. in phosphorus deficiency conditions. Experimental treatments consisted of no deficiency (control) and two levels of phosphorus deficiency and foliar application of Fe²⁺, Zn²⁺ and Cu²⁺ in concentration of 1 and 2%. Deficient plants showed a significant decrease in P content of root. Spraying Fe²⁺ and Cu²⁺ 2% caused increase in P content under deficiency. Foliar nutrition with iron, zinc and copper caused decrease in nitrogen and phosphorus content in deficient plants. Applying zinc and iron as spraying caused increase in NO₃⁻ content in shoots and roots. In the present study, spraying zinc, iron and copper caused increase in their contents in shoots and roots of *Mentha*. Spraying Fe²⁺ 2% caused increase in P, NO₃⁻ and Fe²⁺ contents in shoots of *Mentha* plant. The orthogonal comparison results showed that there was a significant difference in nutrients content between foliar application of micronutrients and control and also between foliar application of iron compare to copper and zinc and foliar application of zinc compared to copper in shoots and roots of *Mentha*. Regarding the obtained results, leaf nutrition of micronutrients as spraying can be mentioned as a suitable suggestion to reduce the effects of macronutrients deficiency, especially phosphorus. It seems that spraying iron and zinc showed the highest effect in absorption of other nutrients in shoots, also spraying copper had the highest effect in roots.

Keywords: micronutrients, *Mentha aquatica*, nutrition, phosphorus deficiency, spraying.

اثر تغذیه برگی برخی عناصر ریزمغذی بر جذب گیاه پونه آبی در شرایط کمبود فسفر خاک

معصومه خوارزمی^۱، نیر محمدخانی^{۱*}، مسلم ثروتی^۲

۱. گروه گیاهان دارویی، مرکز آموزش عالی شهید باکری میاندوآب، دانشگاه ارومیه، ارومیه، ایران

۲. گروه علوم خاک، مرکز آموزش عالی شهید باکری میاندوآب، دانشگاه ارومیه، ارومیه، ایران

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۷/۹/۱۱ - تاریخ بازنگری: ۱۳۹۸/۵/۲۲ - تاریخ تصویب: ۱۳۹۸/۵/۲۲)

چکیده

فسفر یکی از عناصر پرمصرف کودی بوده و در خاک‌های آهکی ایران محدودیت جذب دارد. از طرفی با توجه به مشکلات مصرف خاکی عناصر ریزمغذی، کاربرد برگی عناصر ریزمغذی، می‌تواند اثرات کمبود فسفر را تعدیل نماید. این مطالعه به صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی در سه تکرار با هدف بررسی تاثیر عناصر ریزمغذی (آهن، روی و مس) بر جذب عناصر غذایی گیاه پونه (*Mentha aquatica* L.) در شرایط کمبود فسفر انجام شد. تیمارهای آزمایش شامل دوسطح کمبود فسفر و نرمال (شاهد) و کاربرد محلول‌پاشی با دو سطح ۱٪ و ۲٪ بودند. اعمال کمبود فسفر باعث کاهش معنی‌دار محتوای فسفر در ریشه شد. محلول‌پاشی عناصر مس و آهن ۲٪ باعث افزایش محتوای فسفر در شرایط کمبود فسفر نسبت به شاهد شد. تحت کمبود فسفر تغذیه برگی با آهن، مس، و روی باعث کاهش محتوای فسفر و نیتروژن قابل جذب خاک در بیشتر تیمارها گردید. کاربرد روی و آهن تحت کمبود فسفر به صورت محلول‌پاشی، غلظت نیترات در اندام هوایی و ریشه را افزایش داد. در تحقیق حاضر محلول‌پاشی روی، آهن و مس باعث افزایش محتوای آن‌ها در اندام هوایی و ریشه پونه شد. محلول‌پاشی آهن ۲٪ باعث افزایش محتوای فسفر، نیترات و آهن اندام هوایی گیاه پونه شد. نتایج مقایسه اورتوگونال نشان داد که بین محلول‌پاشی ریزمغذی‌ها و شاهد و محلول‌پاشی آهن نسبت به روی و مس و محلول‌پاشی روی نسبت به مس در محتوای عناصر غذایی در اندام هوایی و ریشه گیاه پونه در اغلب موارد تفاوت معنی‌دار وجود داشت. با توجه به نتایج به دست آمده می‌توان تغذیه برگی ریزمغذی به صورت محلول‌پاشی را به عنوان پیشنهاد مناسبی برای کاهش اثرات کمبود عناصر پرمصرف به ویژه فسفر در نظر گرفت. به نظر می‌رسد محلول‌پاشی آهن و روی در اندام هوایی و محلول‌پاشی مس در ریشه بیشترین تاثیر را بر جذب سایر عناصر غذایی دارد.

واژه‌های کلیدی: کمبود فسفر، عناصر ریزمغذی، محلول‌پاشی، تغذیه، پونه آبی

مقدمه

پونه آبی با نام علمی *Mentha aquatica* L. متعلق به خانواده نعناعیان بوده و در اراضی مرطوب حاشیه رودخانه‌ها، مرداب‌ها و چشمه‌ها به صورت خودرو رشد می‌کند (Marrin et al., 2007). مهم‌ترین ترکیبات پونه آبی بتا کاریوفیلین، ۱ و ۸ سینئول، پیپریتون اکساید بوده و بسیار معطر است. از نظر دارویی اسانس پونه خاصیت بادشکن، ضد تشنج و تسکین‌دهنده درد زخم معده است (Esmaeili et al., 2006). از نظر گیاه شناسی، گیاهی چندساله با ساقه زیرزمینی و هوایی به ارتفاع ۲۰ تا ۹۰ سانتی‌متر بوده و خیزان و کرکدار است (Jamzad, 2012).

اهمیت تغذیه معدنی کافی و متعادل گیاهان از دیرباز مورد توجه محققین بوده و نقش آن در رشد و نمو، عملکرد و کیفیت محصولات به اثبات رسیده است. یکی از عناصر پرمصرف کودی که کمبود آن بسیار متداول است فسفر است (Marschner, 2005).

(1986). فسفر در ساختار سلول و متابولیسم گیاهی نقش داشته و در ساختمان اسیدهای نوکلئیک و فسفولیپیدها شرکت می‌کند، جزء مهمی از مولکول‌های ATP و کوآنزیم‌ها بوده و در متابولیسم انرژی دارای نقش کلیدی است (Hawkesford et al., 2012). کمبود فسفر باعث کوتولگی گیاه شده و با گیاهان جوان اشتباه گرفته می‌شود. کمبود فسفر در برگ‌های پیرتر منجر به مشبک شدن و قهوه‌ای شدن می‌شود (Salim, 2000). در شرایط کمبود فسفر، تثبیت دی‌اکسیدکربن و فتوسنتز به دلیل کاهش باز یافت RBP کاهش می‌یابد (Jacob and Lawlor, 1992). در مطالعه‌ای واکنش ارقام مختلف کلزا به تنش کمبود فسفر بررسی شده است (Nourgholipour et al., 2018).

گیاهان در بین همه ریز مغذی‌ها، بیشترین نیاز را به آهن داشته در حالی‌که در مناطق خشک و نیمه خشک کمبود آهن قابل استفاده گیاه بسیار مرسوم است (Purnomo and Black, 2005).

باشد که نوآوری پژوهش حاضر به‌شمار می‌رود.

مواد و روش‌ها

به‌منظور ارزیابی اثر محلول‌پاشی عناصر ریز مغذی (آهن، روی و مس) بر جذب عناصر غذایی در گیاه پونه (*Mentha aquatica*) رقم ارومیه تحت کمبود فسفر، آزمایشی به صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملا تصادفی با سه تکرار در پاییز سال ۱۳۹۶ به صورت آزمایش گلدانی در گلخانه مرکز آموزش عالی شهید باکری میاندوآب دانشگاه ارومیه انجام شد. خاک مورد استفاده از منطقه میاندوآب (با مختصات جغرافیایی ۴۰°۹۶′۴۵″ عرض شمالی و ۵۹°۵۴′۲۸″ طول شرقی UTM) جمع‌آوری و از الک ۴ میلی‌متری عبور داده شد. نتایج تجزیه خاک مورد استفاده در جدول (۱) ارائه شده است. حدود بحرانی فسفر ۹/۸ میلی‌گرم بر کیلوگرم خاک اندازه‌گیری شده است. نشاءهای دو ماهه پونه از شرکت زرین گیاه ارومیه تهیه و در گلدان‌های پلاستیکی چهار کیلوگرمی با عمق و قطر ۱۸ سانتی‌متر کاشته شد. دمای گلخانه °C ۱۸-۲۵ و رطوبت نسبی ۸۰-۶۰ بود. نشاءهای کاشته شده ابتدا با محلول غذایی هوگلند $\frac{1}{4}$ ، سپس با $\frac{1}{2}$ و نهایتاً با محلول تمام قدرت (حاوی نمک‌های موجود در محلول غذایی هوگلند با غلظت کامل) آبیاری شدند (Hoagland and Arnon, 1950). pH محلول غذایی هوگلند (در محدوده ۶-۶/۵) کنترل شد. تیمار فسفر در دو غلظت نرمال و کمبود بر گیاهان سه ماهه اعمال شد، برای اعمال کمبود فسفر ابتدا میزان فسفر در محلول غذایی به نصف و پس از ۱۵ روز به $\frac{1}{4}$ و در نهایت به صفر کاهش یافت. هم‌زمان با اعمال تیمار کمبود فسفر محلول‌پاشی عناصر ریز مغذی (آهن، روی و مس) از منبع سولفات آهن ($\text{FeSO}_4 \cdot 7 \text{H}_2\text{O}$)، سولفات روی ($\text{ZnSO}_4 \cdot 7 \text{H}_2\text{O}$) و سولفات مس ($\text{CuSO}_4 \cdot 5 \text{H}_2\text{O}$) مرک (Merck) در گرید آزمایشگاهی با درجه خلوص (۹۷ تا ۹۹ درصد) در سطوح ۱ و ۲٪ انجام و سه مرتبه هر ۱۵ روز یکبار تکرار شد. سطوح محلول‌پاشی از آزمایش‌های غربالگری اولیه روی گیاه پونه تعیین شد. بعد از بروز علائم کمبود در گیاهان بدون محلول‌پاشی، اندام‌های هوایی و ریشه گیاهان پنج ماهه برداشت شدند. سپس اندام‌های هوایی و ریشه به‌صورت جداگانه وزن و در آون در دمای ۷۰ درجه سلسیوس به مدت ۴۸ ساعت خشک شدند. برای عصاره‌گیری از ماده خشک، ۵۰ میلی‌گرم از نمونه‌های خشک، پودر و داخل لوله-های پلاستیکی ریخته شد و ۲ میلی‌لیتر محلول نیتریک اسید ۱ میلی‌مولار به آن اضافه گردید. برای بهبود عمل استخراج لوله‌های حاوی نمونه به مدت یک شب در آزمایشگاه نگهداری و روز بعد به مدت ۱۵ دقیقه در حمام آب گرم قرار داده شد. ۴ میلی‌لیتر آب دیونیزه به هر لوله اضافه و دوباره به مدت ۱۵ دقیقه در حمام

(1994). گیاه برای انجام فرایندهای فتوسنتز، انتقال الکترون، سنتز زیستی کلروفیل و سنتز ترکیبات آهن-گوگرد دار به آهن نیاز دارد. عنصر روی در مقدار کم به‌عنوان یک ریزمغذی ضروری برای رشد و نمو در بسیاری از فرآیندهای متابولیکی گیاه نقش دارد. این فلز تنها عنصری است که به‌عنوان فعال‌کننده و عامل مشترک در هر ۶ گروه آنزیمی اکسیدوردوکتاز، ترانسفراز، هیدرولاز، لیاز، ایزومراز و لیگاز نقش دارد (Auld, 2001). در خاک‌های آهنی، محلول‌پاشی عناصر بور، روی، مس و منگنز به‌دلیل بر طرف نمودن سریع کمبود، آسانتر بودن اجرای آن و جلوگیری از تثبیت، اهمیت دارد (Malakouti and Tehrani, 1999). همچنین محلول‌پاشی سبب ترشح مواد قندی و سایر مواد از ریشه به محلول خاک شده و سبب بهبود فعالیت میکروبی در رایزوسفر شده و قابلیت جذب عناصر غذایی را افزایش می‌دهد. کمبود برخی عناصر گاهی سبب کاهش جذب سایر عناصر غذایی می‌شود، لذا توجه بیشتر به نحوه کاربرد آن‌ها ضروری به‌نظر می‌رسد. کاربرد ریزمغذی‌ها به روش محلول‌پاشی می‌تواند وضعیت رشد گیاه را بهبود بخشد. از طرفی عناصر کم مصرف با تاثیر بر جذب عناصر پرمصرف از اهمیت ویژه‌ای برخوردارند (Movahhedy-Dehnavi et al., 2009). در تحقیقی در اثر مصرف ۲/۵ میلی‌گرم روی در کیلوگرم خاک، جذب نیتروژن در ذرت از ۵۳/۴ میلی‌گرم در شاهد به ۲۰۶/۲ میلی‌گرم در تیمار کود داده شده افزایش یافت (Gupta and Singh, 1985). کاربرد مس به صورت خاکی و محلول‌پاشی و کاربرد توام آن‌ها باعث افزایش مس در اندام هوایی و افزایش جذب فسفر گردید (Lotfollahi, 2003). همچنین در مطالعه‌ای تغییرات جذب عناصر کم مصرف و پرمصرف در گیاه دارویی پونه تحت تاثیر عناصر مس و روی بررسی شد و نتایج آن نشان داد که گیاه دارویی پونه دارای قدرت جذب و انتقال بالایی از عناصر به اندام هوایی می‌باشد (Asgari Lajayer et al., 2015).

با توجه به اهمیت فسفر به عنوان یک عنصر پرمصرف و ضروری برای رشد گیاهان و تولید متابولیت‌های ثانویه و مشکل کمبود آن (تحرك کم در خاک، تثبیت و غیر قابل جذب بودن فسفر) در اکثر خاک‌ها به ویژه خاک‌های ایران و همچنین تاثیر عناصر کم‌مصرف بر جذب عناصر غذایی، موجب شد در این تحقیق به تاثیر محلول‌پاشی عناصر کم مصرف روی، مس و آهن بر محتوای فسفر و سایر عناصر مغذی در اندام‌های هوایی و زیرزمینی و رایزوسفر گیاه پونه آبی تحت شرایط کمبود فسفر پرداخته شود. از آنجایی که اکثر خاک‌های ایران دارای مشکل جذب فسفر بوده، لذا محلول‌پاشی در شرایط کمبود فسفر می‌تواند روش مناسبی برای جذب بهتر فسفر و سایر عناصر غذایی ماکرو و میکرو در مزارع مناطق خشک و نیمه‌خشک مانند کشور ایران

Walkley and Black, 1990)، ماده آلی خاک به روش ترسوزانی (،
 1934)، بافت با روش هیدرومتری (Gee and Baulder, 1986) بر
 روی نمونه‌های خاک صورت گرفت. آهن، منگنز، مس و روی به
 وسیله عصاره‌گیری با عصاره‌گیر DTPA استخراج و غلظت آن‌ها
 به وسیله دستگاه طیف سنج جذب اتمی سنجیده شد (Lindsay
 and Norvell, 1979). غلظت نیترژن (N) با استفاده از روش
 اسید فینیل دی‌سولفونیک (Bremner, 1965) و غلظت فسفر (P)
 به روش آبی (Olsen et al., 1954) تعیین شد.

آب گرم قرار داده شد. سپس نمونه‌ها در ۵۰۰۰ دور در دقیقه
 سانتریفیوژ و محلول رویی جدا و با آب دیونیزه به حجم ۱۰ میلی-
 لیتر رسانده شد (Walker et al., 2004). غلظت آهن (Fe²⁺)،
 منگنز (Mn²⁺)، مس (Cu²⁺) و روی (Zn²⁺) در گیاه به وسیله
 جذب اتمی و غلظت فسفر به روش Murphy and Riley (1962)
 و غلظت نیترات با روش سالیسیلیک اسید تعیین شد (Cataldo
 et al., 1975). آنالیزهای فیزیکی و شیمیایی خاک شامل pH
 خاک در گل اشباع و کربنات کلسیم معادل (CCE) (Mclean,
 1982)، هدایت الکتریکی (EC) در عصاره گل اشباع (Roades,

جدول ۱. برخی ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک اولیه

بافت خاک	رس (%)	سیلت (%)	شن (%)	کربنات کلسیم معادل (%)	ماده آلی خاک (%)	قابلیت هدایت الکتریکی (ds/m)	واکنش خاک
لوم شنی	۱۵	۷/۵	۷۷/۵	۱۷	۱/۳۸	۳/۲۱	۷/۴۴

محتوای روی ریشه) و خاک در سطح احتمال ۵٪ معنی‌دار بود
 (جداول ۲ تا ۴).

محتوای فسفر

اثر محلول‌پاشی عناصر میکرو، کمبود و محلول‌پاشی × کمبود بر
 محتوای فسفر ریشه، اندام هوایی و خاک معنی‌دار بود. محلول‌پاشی
 آهن ۲ درصد و مس ۲ درصد، محتوای فسفر اندام هوایی نسبت به
 شاهد را در گیاهان نرمال (طبیعی از نظر میزان فسفر) افزایش داد،
 ولی محلول‌پاشی مس یک درصد باعث کاهش محتوای فسفر اندام
 هوایی نسبت به شاهد شد. اعمال کمبود فسفر در گیاه پونه باعث
 کاهش محتوای فسفر نسبت به گیاهان نرمال شد. تغذیه برگی با
 آهن، روی و مس در دو غلظت ۱ و ۲ درصد، به‌جز آهن در غلظت ۱
 درصد باعث افزایش محتوای فسفر در شرایط کمبود فسفر در اندام
 هوایی نسبت به شاهد گردید (شکل ۱).

تجزیه و تحلیل آماری با استفاده از نرم افزار SPSS نسخه
 ۲۴ انجام و تفاوت بین تیمارها (تیمار فسفر در دو سطح دارای
 کمبود و بدون کمبود و محلول‌پاشی در ۷ سطح کنترل، آهن ۱٪،
 آهن ۲٪، روی ۱٪، روی ۲٪، مس ۱٪ و مس ۲٪) با استفاده از
 آزمون تحلیل واریانس دوطرفه (GLM) تعیین شد. برای تعیین
 اختلاف بین میانگین‌ها از آزمون چند دامنه دانکن در سطح
 احتمال ۵٪ استفاده شد. همچنین مقایسه گروهی (اورتوگونال)
 اثر ریزمغذی‌ها بر محتوای عناصر غذایی انجام شد.

یافته‌ها و بحث

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که اختلاف بین همه‌ی عناصر
 غذایی در تیمار کمبود فسفر، محلول‌پاشی عناصر کم‌مصرف و اثر
 متقابل (کمبود × محلول‌پاشی) در اندام هوایی، ریشه (به جز

جدول ۲. نتایج آنالیز واریانس اثر محلول‌پاشی عناصر ریزمغذی بر محتوای عناصر غذایی اندام هوایی گیاه پونه تحت کمبود فسفر

منبع تغییرات	درجه آزادی	محتوای فسفر (P)	محتوای نیترات (NO ₃)	روی (Zn)	مس (Cu)	محتوای منگنز (Mn)	محتوای آهن (Fe)
کمبود (deficiency)	۱	۱۴/۴۷۹**	۴/۰۰۵**	۰/۰۴۸**	۰/۰۳۸**	۰/۰۰۷**	۰/۰۴۰*
محلول‌پاشی (Spraying)	۶	۱/۸۰۱**	۶/۱۹۴**	۰/۰۲۱**	۰/۰۴۴**	۰/۰۰۱**	۰/۱۹۸**
کمبود × محلول‌پاشی deficiency × Spraying	۶	۰/۹۹۱**	۴/۳۶۰**	۰/۰۱۱**	۰/۰۱۵**	۰/۰۰۱**	۰/۲۸۱**
خطا	۲۸	۰/۰۹۸	۰/۰۱۵	۰/۰۰۰	۶/۰۱۵E-۵	۴/۴۷۲E-۵	۰/۰۰۸

** معنی‌دار در سطح احتمال ۱٪، * معنی‌دار در سطح احتمال ۵٪

جدول ۳. نتایج آنالیز واریانس اثر محلول پاشی عناصر ریزمغذی بر محتوای عناصر غذایی ریشه گیاه پونه تحت کمبود فسفر.

منبع تغییرات	درجه آزادی	محتوای فسفر (P)	محتوای نیترات (NO ₃)	محتوای روی (Zn)	محتوای مس (Cu)	محتوای منگنز (Mn)	محتوای آهن (Fe)
کمبود (deficiency)	۱	۷/۹۲۶**	۱۹/۱۰۱**	۰/۰۰۰ ^{ns}	۰/۰۰۸**	۰/۰۳۰**	۰/۰۹۰**
محلول پاشی (Spraying)	۶	۱/۲۷۹**	۶/۲۰۱**	۰/۰۰۵**	۰/۰۰۴**	۰/۰۰۸**	۱/۵۴۵**
کمبود×محلول پاشی deficiency× Spraying	۶	۰/۵۷۹**	۲/۹۷۳**	۰/۰۱۸**	۰/۰۰۱**	۰/۰۰۵**	۱/۴۹۶**
خطا	۲۸	۰/۰۰۷	۰/۰۲۴	۸/۳۱۷E ^{-۵}	۴/۴۳۴E ^{-۶}	۲/۶۳۳E ^{-۵}	۰/۰۰۶

** معنی دار در سطح احتمال ۱٪ و ns غیر معنی دار

جدول ۴. نتایج آنالیز واریانس اثر محلول پاشی عناصر ریزمغذی بر محتوای عناصر غذایی خاک گیاه پونه تحت کمبود فسفر

منبع تغییرات	درجه آزادی	محتوای فسفر (P)	محتوای نیترژن کل (Total N)	محتوای روی (Zn)	محتوای مس (Cu)	محتوای منگنز (Mn)	محتوای آهن (Fe)
کمبود (deficiency)	۱	۱۶۰/۱۰۸**	۰/۰۰۰**	۷/۰۹۱**	۰/۳۱۴**	۴/۴۹۹**	۲/۵۴۵**
محلول پاشی (Spraying)	۶	۳۵۵/۳۵۱**	۰/۰۰۰**	۱۱/۴۲۵**	۱۲/۰۲۵**	۰/۵۰۹**	۳/۳۴۷**
کمبود×محلول پاشی deficiency× Spraying	۶	۴۹۴/۷۴۶**	۰/۰۰۰**	۱/۸۷۹**	۰/۱۸۱**	۰/۴۶۴**	۴/۶۹۶**
خطا	۲۸	۸/۳۲۲	۳/۹۷۶E ^{-۵}	۰/۰۱۳	۰/۰۰۸	۰/۰۱۰	۰/۱۸۴

** معنی دار در سطح احتمال ۱٪

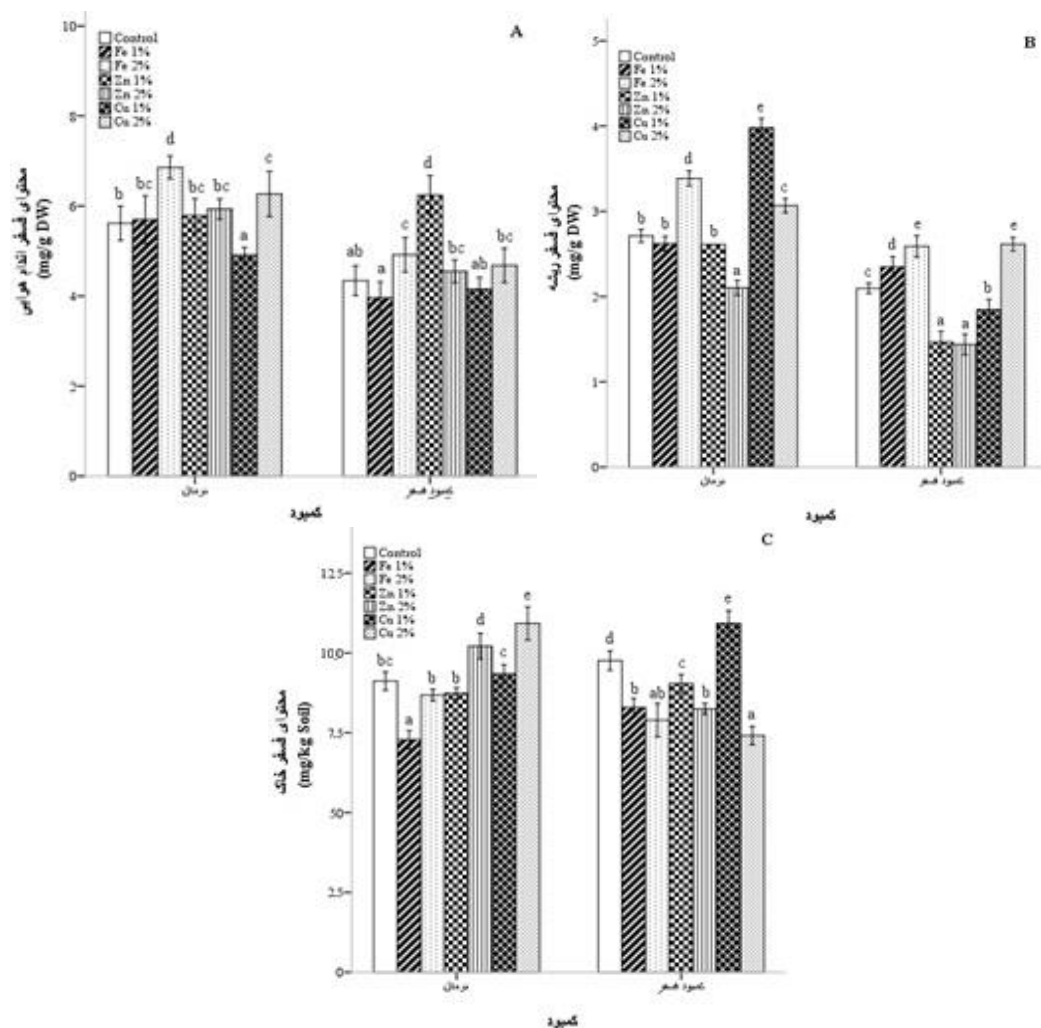
در ۲۰۰۱ (2001) که با نتایج پژوهش حاضر مطابقت دارد. افزایش غلظت فسفر بر اثر محلول پاشی با روی و آهن در پنبه (Sial *et al.*, 2005) و آفتابگردان (Ravi *et al.*, 2008) نیز گزارش شده است. اعمال کمبود فسفر باعث کاهش معنی دار محتوای فسفر در ریشه گیاهان دارای کمبود فسفر نسبت به گیاهان نرمال شده است. در مطالعات گذشته نیز تنش کمبود فسفر باعث کاهش معنی دار جذب فسفر در اندام هوایی و ریشه کلزا شد (Nourgholipour *et al.*, 2018). تغذیه برگری گیاه پونه با آهن ۱ و ۲ درصد و مس ۲ درصد در شرایط کمبود فسفر، باعث افزایش غلظت فسفر نسبت به شاهد در ریشه گردید. با این حال تغذیه برگری با روی ۱ و ۲ درصد و مس ۱ درصد در شرایط کمبود فسفر نیز موجب کاهش غلظت فسفر در ریشه نسبت به شاهد شد. مطالعات گذشته نیز این موضوع را تایید می کند (Asgari *et al.*, 2015) که نشان می دهد دو عنصر روی و فسفر برای جذب در سیستم ریشه با یکدیگر رقابت داشته و افزایش غلظت هر کدام در محیط ریشه سبب کاهش جذب دیگری می گردد. در این مورد می توان بیان نمود که روی از طریق اثرات ضدیتی قوی با فسفر باعث کاهش غلظت و به تبع آن جذب فسفر می گردد (Marschner, 2011). بیشترین تاثیر بر افزایش محتوای

در تایید مطالعه حاضر غلظت فسفر در اندام هوایی و برگ گیاه فلفل نیز تحت تاثیر محلول پاشی سولفات آهن افزایش یافت (Roosta and Mohsenian, 2012). دلیل افزایش فسفر را می توان به تاثیر کاربرد عناصر ریز مغذی که باعث افزایش رشد ریشه و جذب فسفر از مناطق (وسیع تر) با فاصله بیشتر می شود، مربوط دانست. چون فسفر عنصری غیر متحرک در خاک است. استنباط می شود که محلول پاشی گیاه با آهن و روی منجر به افزایش شدت فتوسنتز گیاه می شود، بنابراین کربوهیدرات بیشتری به ریشه ها منتقل شده، رشد و جذب عناصر غذایی توسط ریشه زیاد می شود و در نتیجه غلظت های عناصر در گیاه افزایش می یابد. از طرف دیگر بخشی از محصولات فتوسنتزی منتقل شده به ریشه ها به وسیله آنها مصرف نمی شود، بلکه به بیرون از ریشه ها ترشح می شود که به شکل انواع اسیدهای آلی و کربوهیدرات ها در ناحیه رایزوسفر، باعث افزایش جمعیت میکروبی خاک رایزوسفر و اثر مثبت آن بر آزادسازی عناصر غذایی مختلف، همچنین تشکیل کلات با کاتیون های فلزی مختلف و افزایش حل پذیری ترکیبات Ca, P, Fe, Zn در خاک می شود (Marschner, 1995). کاربرد عنصر روی به روش تغذیه برگری موجب افزایش جذب فسفر در اندام هوایی کنگد شده است (Thiruppathi *et al.*,)

تیمار کمبود فسفر تغذیه برگه آهن، مس و روی به جز مس ۱ درصد باعث کاهش محتوای فسفر قابل جذب خاک گردید که با توجه به افزایش محتوای فسفر اندام هوایی در تغذیه برگه و جذب از خاک این نتیجه قابل پیش بینی بود.

فسفر ریشه در گیاهان دارای کمبود فسفر مربوط به آهن ۲ درصد و مس ۲ درصد است.

محلول پاشی روی و مس ۲ درصد باعث افزایش میزان فسفر در خاک گیاهان نرمال نسبت به شاهد شد، ولی محلول پاشی آهن ۱ درصد باعث کاهش محتوای فسفر در خاک شد. در گیاهان با



شکل ۱. اثر محلول پاشی عناصر ریزمغذی بر محتوای فسفر (P) اندام هوایی (A) و ریشه (B) گیاه پونه و خاک (C) تحت کمبود فسفر. حروف لاتین غیر مشابه روی ستون‌ها تفاوت معنی‌دار را طبق آنالیز Duncan ($P < 0.05$) در شرایط نرمال (مقایسه تیمارهای محلول پاشی در شرایط نرمال با هم) و در شرایط کمبود (مقایسه تیمارهای محلول پاشی در شرایط کمبود با هم) نشان می‌دهد.

نرمال (طبیعی از نظر میزان فسفر) محلول پاشی روی ۲ درصد باعث افزایش محتوای نیتروژن کل در خاک نسبت به شاهد شد، در مقابل محلول پاشی آهن ۲ درصد و روی ۱ درصد باعث کاهش محتوای نیتروژن کل خاک گردید. افزایش محتوای نیتروژن را در حضور عناصر ریزمغذی می‌توان به تاثیر غیر مستقیم عناصر ریزمغذی بر جذب نیتروژن نسبت داد، به این صورت که گیاه با در دسترس داشتن عناصر ریزمغذی استفاده بیشتر و بهینه‌ای از نیتروژن موجود در خاک کرده است.

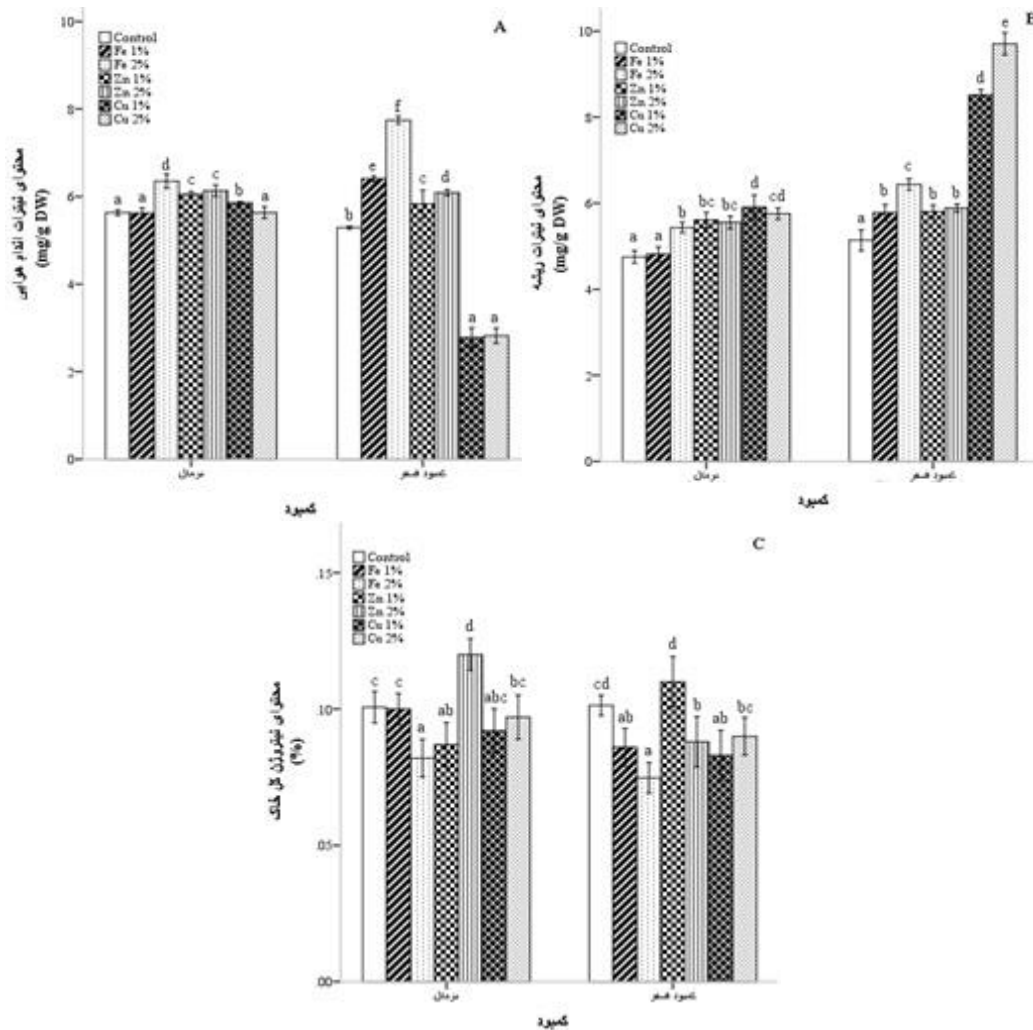
این نتایج در مورد گندم (*Seadh et al., 2009*) و کلزا (*Olamaei et al., 2013*) نیز گزارش شده است. در شرایط شاهد

محتوای نیترات

کاربرد روی و آهن به صورت محلول پاشی در شرایط کمبود فسفر، غلظت نیترات اندام هوایی و ریشه را افزایش داد، در حالی که تغذیه برگه مس در شرایط کمبود فسفر محتوای نیترات را در اندام هوایی کاهش و در ریشه افزایش داد. در گیاه پونه آبی بیشترین تاثیر در محتوای نیترات اندام هوایی مربوط به آهن دو درصد بود (شکل ۲)، اما در ریشه بیشترین تاثیر مربوط به محلول پاشی مس ۲ درصد بود. در شرایط کمبود فسفر تاثیر محلول پاشی بر محتوای خاکی نیتروژن معنی‌دار بود و به جز روی یک درصد باعث افزایش جذب توسط گیاه و کاهش محتوای آن در خاک گردید. در گیاهان

این نشان دهنده عدم توانایی گیاه در انتقال نیترات از ریشه و خاک به اندام هوایی است. (Taylor et al., 2010) نیز گزارش کردند که تحت کمبود فسفر انباشتگی نیتروژن در ریشه وجود داشت که به دلیل محدودیت انتقال نیتروژن به آوند چوبی است. اما عموماً کاهش محتوای نیتروژن در اندام هوایی مشاهده شد که با نتایج تحقیق حاضر مطابقت دارد.

تأثیر محلول پاشی بر محتوای نیترات نسبت به کمبود کمتر بود و در بسیاری از تیمارها معنی دار نبود. تحت تنش فسفر جذب نیترات کاهش می یابد که این امر ممکن است مرتبط با سرعت کند رشد ریشه باشد (Ameziane et al., 1997). لذا در تحقیق فوق نیز در شرایط کمبود فسفر نسبت به شاهد، کاهش محتوای نیترات در اندام هوایی مشاهده شد. با این حال در شرایط کمبود فسفر، محتوای نیترات در ریشه و خاک بیشتر از شاهد بود که



شکل ۲. اثر محلول پاشی عناصر ریز مغذی بر محتوای نیترات (NO_3) اندام هوایی (A) و ریشه (B) گیاه پونه و خاک (C) تحت کمبود فسفر. حروف لاتین غیر مشابه روی ستون‌ها تفاوت معنی دار را طبق آنالیز Duncan ($P < 0.05$) در شرایط نرمال (مقایسه تیمارهای محلول پاشی در شرایط نرمال باهم) و در شرایط کمبود (مقایسه تیمارهای محلول پاشی در شرایط کمبود باهم) نشان می دهد.

نسبت به شاهد شد. کمبود فسفر باعث کاهش محتوای آهن نسبت به گیاهان نرمال شد. محلول پاشی عناصر ریز مغذی (آهن، مس و روی) به جز روی ۱ درصد باعث بالا رفتن میزان آهن ریشه نسبت به شاهد شد. محلول پاشی با آهن و ترکیب آهن و روی باعث افزایش غلظت آهن در برگ سیاه دانه شد (Mousa et al., 2003) که با نتایج مطالعه حاضر همخوانی داشت. همچنین در مطالعه‌ای دیگر محتوای آهن اندام هوایی به طور معنی داری تحت

محتوای آهن

محلول پاشی آهن، مس ۱ درصد و روی ۲ درصد در گیاهان نرمال (طبیعی از نظر میزان فسفر) باعث افزایش محتوای آهن در اندام هوایی شد. در گیاهان تحت کمبود فسفر محلول پاشی عناصر ریز مغذی به جز مس ۱ درصد، محتوای آهن اندام هوایی را نسبت به شاهد آن افزایش داد (شکل ۳). در گیاهان نرمال محلول پاشی آهن ۲ درصد و مس ۱ درصد باعث افزایش محتوای آهن ریشه

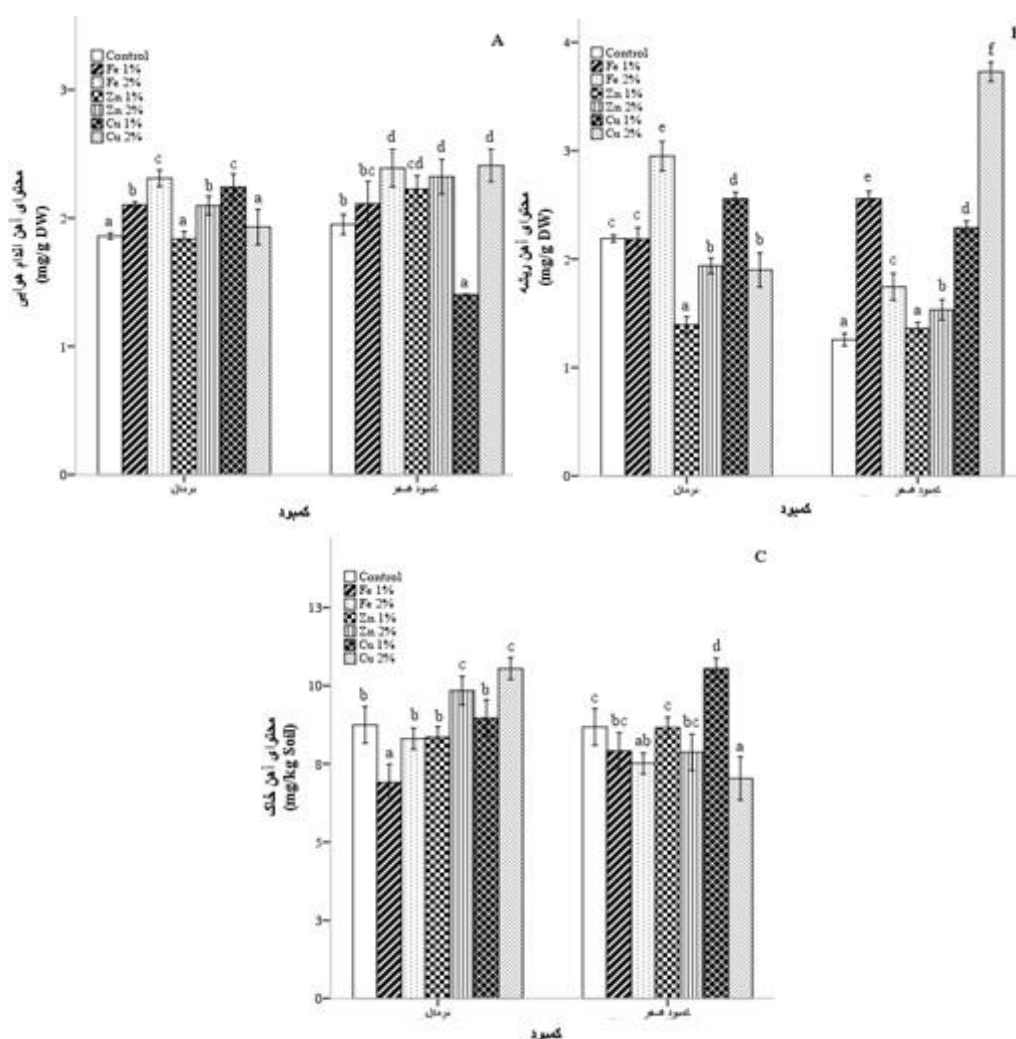
شد.

Pahlavan Rad *et al.* و Mohammadi pour *et al.* (2013)

(2008). *al.* به ترتیب در مورد سوسن و گندم افزایش محتوای آهن در اندام هوایی و ریشه را با محلول پاشی آهن گزارش نموده‌اند. (2016) *Moghimi pour et al.* نیز چنین نتیجه‌ای در مورد روی در ریحان گزارش کردند. لذا روش محلول پاشی روش مناسبی برای جبران عناصر کم مصرف آهن، روی و مس است. در تحقیقی دیگر محلول پاشی آهن یک روش موثرتر برای جبران کمبود آهن نسبت مصرف به خاکی گزارش شده است (Mortvedt *et al.*, 1972).

تاثیر کاربرد برگی سولفات آهن قرار گرفت و محتوای آهن اندام هوایی بیشتر از ریشه در گیاه فلفل افزایش یافت که احتمالا مربوط به تمایل بیشتر برگ‌ها به جذب یون سولفات بود (Roosta and Mohsenian, 2012). در مطالعه حاضر افزایش محتوای آهن نسبت به گیاهان شاهد در ریشه و بخصوص در شرایط کمبود فسفر بیشتر بود.

محلول پاشی روی و مس ۲ درصد، محتوای آهن خاک را در گیاهان نرمال از نظر میزان فسفر نسبت به شاهد افزایش داد. تیمارهای محلول پاشی به استثنای مس ۱ درصد باعث کاهش معنی‌دار محتوای آهن خاک در شرایط کمبود نسبت به شاهد



شکل ۳. اثر محلول پاشی عناصر ریزمغذی بر محتوای آهن (Fe) اندام هوایی (A) و ریشه (B) گیاه پونه و خاک (C) تحت کمبود فسفر. حروف لاتین غیر مشابه روی ستون‌ها تفاوت معنی‌دار را طبق آنالیز Duncan ($P < 0.05$) در شرایط نرمال (مقایسه تیمارهای محلول پاشی در شرایط نرمال باهم) و در شرایط کمبود (مقایسه تیمارهای محلول پاشی در شرایط کمبود باهم) نشان می‌دهد.

محتوای روی

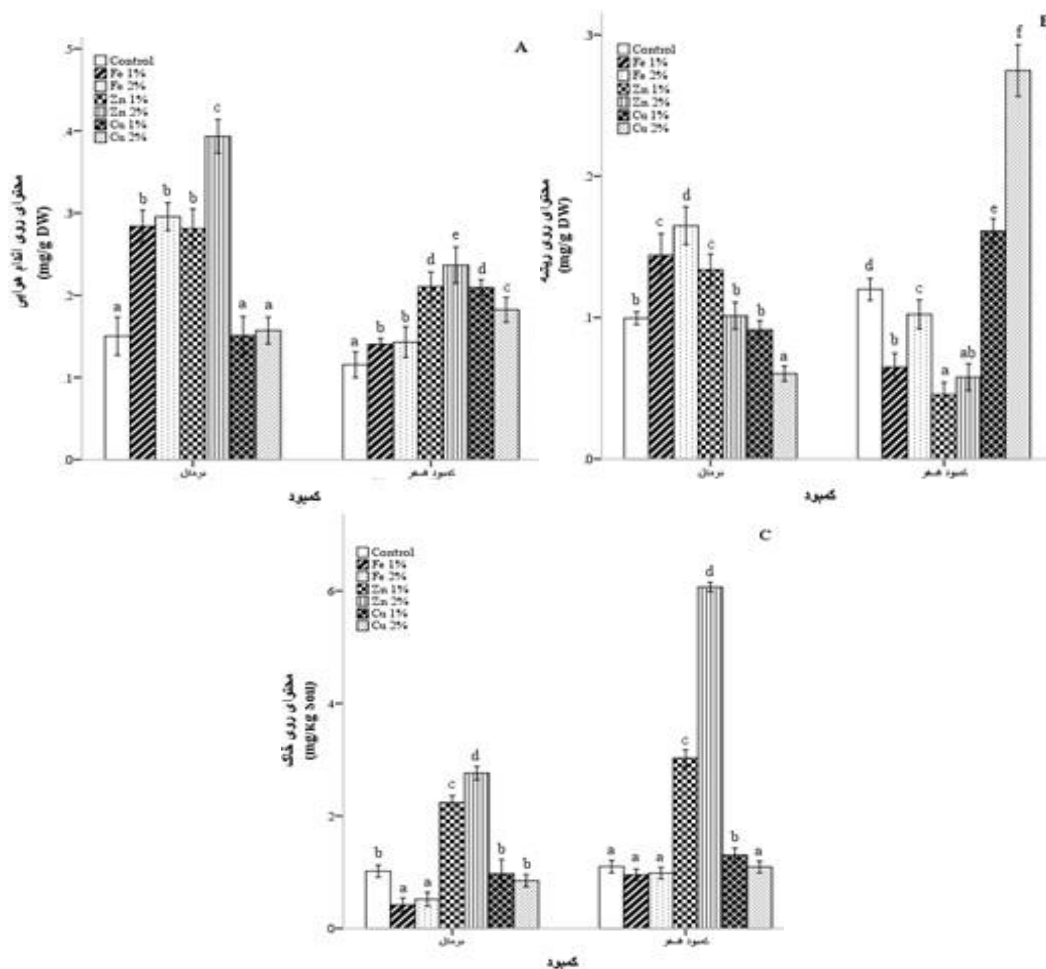
محلول پاشی عناصر ریزمغذی (آهن، مس و روی) باعث افزایش محتوای روی اندام هوایی نسبت به شاهد شد و بیشترین تاثیر مربوط به 2% Zn بود (شکل ۴). در گیاهان نرمال محلول پاشی آهن ۱ و ۲ درصد و روی ۱ درصد باعث افزایش محتوای روی ریشه نسبت به شاهد شد. در تایید مطالعه حاضر گزارش‌های قبلی

اعمال تیمار کمبود فسفر باعث کاهش محتوای روی اندام هوایی در گیاه پونه شد. در گیاهان نرمال (طبیعی از نظر میزان فسفر) محلول پاشی عناصر آهن و روی باعث افزایش محتوای روی اندام هوایی نسبت به شاهد شد. در گیاهان پونه تحت کمبود فسفر

تحقیق حاضر محلول پاشی مس و آهن محتوای روی را در اندام هوایی تحت شرایط تنش فسفر افزایش داد. در ریشه و خاک تغذیه برگری آهن محتوای روی را تحت شرایط کمبود فسفر کاهش داد، در شرایط شاهد و طبیعی از نظر میزان فسفر تاثیر تغذیه برگری آهن بر افزایش محتوای روی ریشه و اندام هوایی معنی دار بود، اما محلول پاشی مس باعث کاهش محتوای روی ریشه شد که دلیل آن را می توان به برهم کنش منفی بین مس و روی نسبت داد که با تحقیق Öncel و همکاران (2000) مطابقت دارد. کمبود فسفر باعث افزایش محتوای روی ریشه نسبت به شاهد شد که دلیل آن را می توان به ترشح برخی مواد از ریشه گیاه پونه به خاک به منظور کاهش اثرات کمبود دانست که باعث افزایش حلالیت عناصر میکرو به خصوص روی، مس و منگنز می - شود.

نشان داد که محلول پاشی با روی باعث افزایش غلظت روی در گیاهان گندم (Pahlavan Rad et al., 2008) و پنبه (Sial et al., 2005) شد. در گیاهان تحت کمبود فسفر محلول پاشی عنصر مس باعث افزایش محتوای روی ریشه نسبت به شاهد آن شد. محلول - پاشی روی در گیاهان نرمال از نظر میزان فسفر محتوای روی در خاک را افزایش داد، در حالی که محلول پاشی آهن باعث کاهش آن نسبت به شاهد شد. در گیاهان تحت کمبود فسفر محلول پاشی روی ۱ و ۲ درصد و مس ۱ درصد محتوای روی را نسبت به شاهد افزایش داد. در تایید مطالعه حاضر در مطالعه ای دیگر با کاربرد خاکی مس و روی جذب این عناصر هم در ریشه و هم در اندام هوایی افزایش یافت (Asgari Lajayer et al., 2015).

محققان به برهمکنش منفی بین دو عنصر مس و روی اشاره کرده اند که این پدیده ممکن است به دلیل رقابت برای اشغال مکان های حمل کننده یکسان صورت گیرد (Zhang, 1993). در



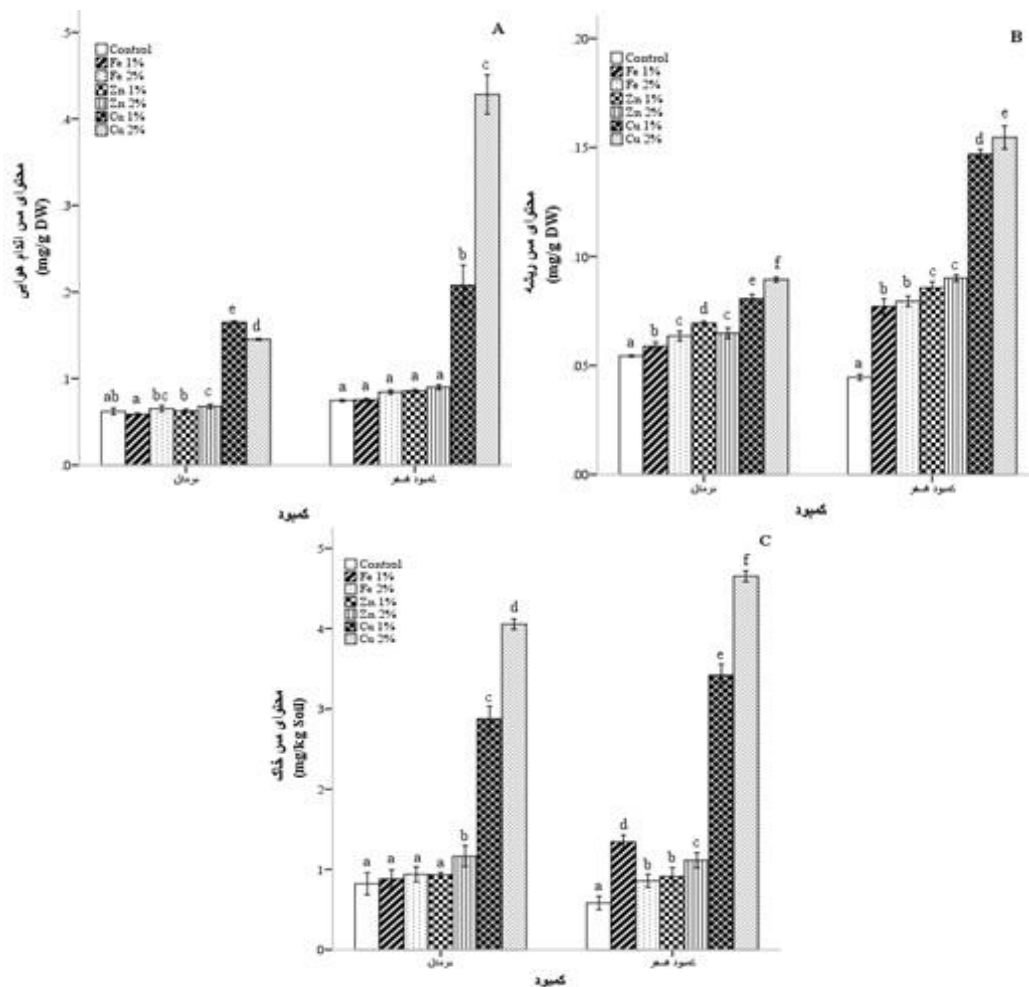
شکل ۴. اثر محلول پاشی عناصر ریز مغذی بر محتوای روی (Zn) اندام هوایی (A) و ریشه (B) گیاه پونه و خاک (C) تحت کمبود فسفر. حروف لاتین غیر مشابه روی ستون ها تفاوت معنی دار را طبق آنالیز Duncan ($P < 0.05$) در شرایط نرمال (مقایسه تیمارهای محلول پاشی در شرایط نرمال باهم) و در شرایط کمبود (مقایسه تیمارهای محلول پاشی در شرایط کمبود باهم) نشان می دهد.

محتوای مس

محلول پاشی مس هم در گیاهان نرمال و هم تحت تیمار کمبود فسفر باعث افزایش محتوای مس اندام هوایی نسبت به شاهد شد، اثر محلول پاشی مس در گیاهان تحت کمبود فسفر بیشتر از گیاهان نرمال بود (شکل ۵). محلول پاشی عناصر ریزمغذی (آهن، مس و روی) باعث افزایش محتوای مس ریشه نسبت به شاهد در گیاهان بدون کمبود مس شده است. اعمال تیمار کمبود فسفر باعث کاهش محتوای مس ریشه نسبت به گیاهان نرمال شد. در گیاهان تحت کمبود فسفر تاثیر محلول پاشی عناصر ریزمغذی بیشتر از گیاهان نرمال بود و محلول پاشی عناصر ریزمغذی تاثیر معنی داری بر افزایش محتوای مس در این گیاهان نسبت به شاهد داشت. اثر محلول پاشی آهن و روی بر محتوای مس در اندام هوایی چه در شرایط نرمال و چه در شرایط کمبود فسفر معنی دار نبود، در حالی که تاثیر آن‌ها در ریشه معنی دار بود و باعث افزایش محتوای مس گردید. در تایید مطالعه حاضر Roosta and

Mohsenian (2012) گزارش کردند که محتوای مس و روی اندام هوایی در گیاه فلفل به طور معنی داری با محلول پاشی برگی آهن افزایش یافت. احتمالا برهمکنش مس با روی و آهن مانع از انتقال مس از ریشه به اندام‌های هوایی شده است.

در گیاهان نرمال محلول پاشی مس ۱ و ۲ درصد و روی ۲ درصد باعث افزایش محتوای مس خاک نسبت به شاهد شد. تیمار کمبود فسفر باعث کاهش محتوای مس خاک نسبت به گیاهان نرمال از نظر میزان فسفر شد. در گیاهان تحت تیمار کمبود فسفر محلول پاشی عناصر ریزمغذی آهن، مس و روی باعث افزایش محتوای مس خاک نسبت به شاهد شد که بیشترین اثر مربوط به محلول پاشی مس ۲ درصد بود. استفاده از مس به صورت محلول- پاشی باعث افزایش مس اندام هوایی و افزایش عملکرد گردید (Lotfoelahi, 2003). همچنین کاربرد مس به صورت محلول پاشی باعث افزایش مس در دانه و اندام هوایی شد (Bron et al., 2003).



شکل ۵. اثر محلول پاشی عناصر ریزمغذی بر محتوای مس (Cu) اندام هوایی (A) و ریشه (B) گیاه پونه و خاک (C) تحت کمبود فسفر. حروف لاتین غیر مشابه روی ستون‌ها تفاوت معنی دار را طبق آنالیز Duncan ($P < 0.05$) در شرایط نرمال (مقایسه تیمارهای محلول پاشی در شرایط نرمال باهم) و در شرایط کمبود (مقایسه تیمارهای محلول پاشی در شرایط کمبود باهم) نشان می‌دهد.

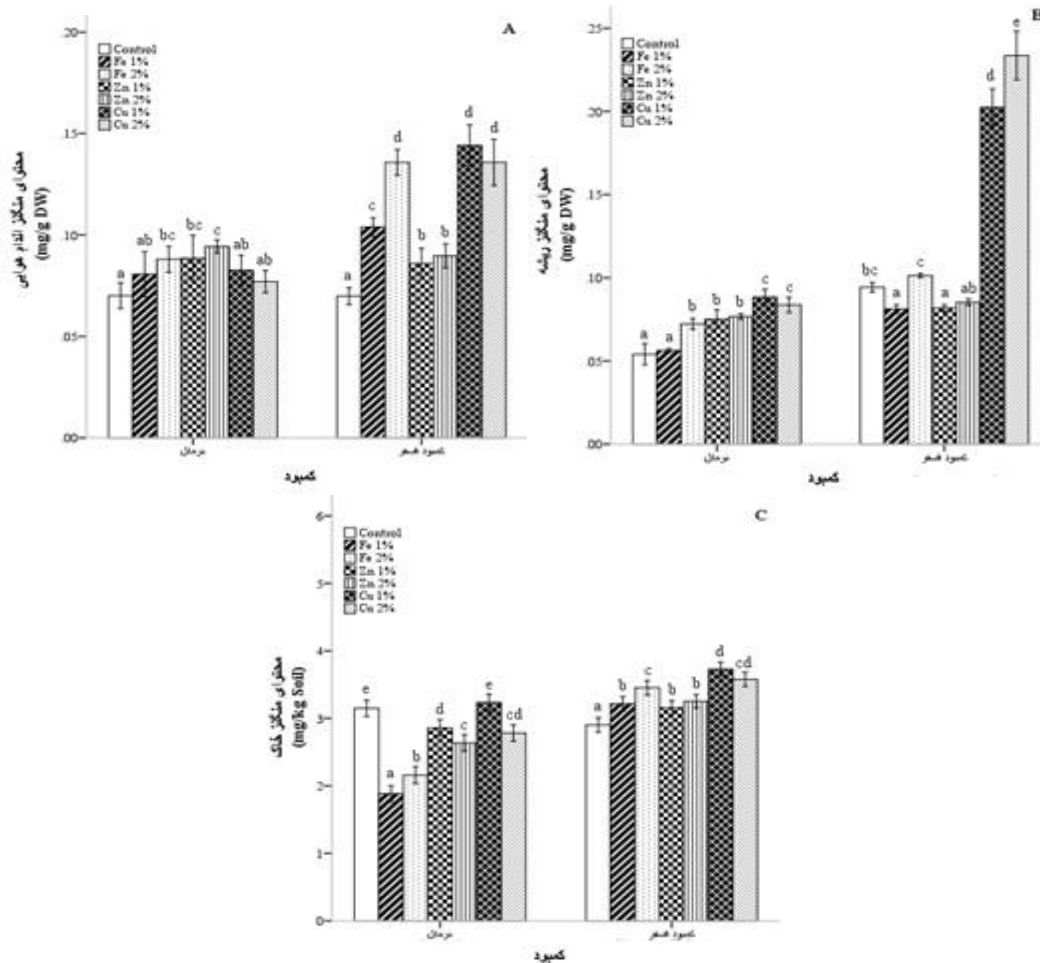
داشت.

در گیاهان طبیعی از نظر میزان فسفر محلول پاشی عناصر ریز مغذی به جز مس ۱ درصد، باعث کاهش محتوای منگنز خاک شده است. محتوای منگنز خاک در شرایط کمبود نسبت به شاهد افزایش نشان داد که می تواند ناشی از ترشح برخی متابولیتها توسط گیاه پونه برای مقابله با شرایط کمبود باشد که باعث حلالیت برخی از ترکیبات منگنز در خاک شده است، این مسئله در مورد محتوای مس و روی نیز صادق است. همچنین دلیل دیگر افزایش محتوای منگنز در شرایط کمبود فسفر اثر ضدیت بین فسفر و منگنز است، چون در شرایط کمبود فسفر جذب منگنز نسبت به شاهد افزایش پیدا کرد که با مطالعات گذشته (Malakoti and Homaei, 2004) مطابقت دارد.

Yassen *et al.* (2010) افزایش جذب عناصر از خاک را از فواید محلول پاشی عنوان می کنند که نتایج مطالعه حاضر را هم در گیاهان نرمال و هم تحت کمبود فسفر تایید می کند.

محتوای منگنز

اسپری روی، مس، و آهن باعث افزایش معنی دار محتوای منگنز در اندام هوایی گیاهان شاهد و تحت کمبود گردید. در ریشه گیاهان نرمال محتوای منگنز با هر سه نوع محلول پاشی افزایش یافت، ولی در شرایط کمبود فسفر فقط محلول پاشی مس محتوای منگنز را افزایش داد (شکل ۶). محلول پاشی عناصر ریز مغذی به جز آهن ۱ درصد باعث افزایش محتوای منگنز ریشه در گیاهان بدون کمبود فسفر نسبت به شاهد شده است، بیشترین تاثیر افزایش محتوای منگنز مربوط به محلول پاشی مس است. در گیاهان تحت کمبود فسفر محلول پاشی مس افزایش محتوای منگنز ریشه نسبت به شاهد را در برداشت که بیشترین تاثیر مربوط به محلول پاشی مس ۲ درصد است. همچنین محتوای منگنز ریشه در گیاه پونه تحت کمبود فسفر افزایش یافت که با گزارش Chrysargyris *et al.* (2016) در مورد گیاه اسطوخودوس مطابقت



شکل ۶- اثر محلول پاشی عناصر ریز مغذی بر محتوای منگنز (Mn) اندام هوایی (A) و ریشه (B) گیاه پونه و خاک (C) تحت کمبود فسفر. حروف لاتین غیر مشابه روی ستون ها تفاوت معنی دار را طبق آنالیز Duncan ($P < 0.05$) در شرایط نرمال (مقایسه تیمارهای محلول پاشی در شرایط نرمال باهم) و در شرایط کمبود (مقایسه تیمارهای محلول پاشی در شرایط کمبود باهم) نشان می دهد.

محلول پاشی آهن با شاهد در ریشه، تفاوت در محتوای نیترات در سایر موارد معنی دار بود. همچنین بین محلول پاشی روی در مقابل شاهد، آهن در مقابل روی و روی در مقابل مس در محتوای فسفر ریشه تفاوت معنی دار وجود داشت. همچنین مقایسه گروهی نشان می دهد تفاوت بین گروه ها در محتوای روی و منگنز اندام هوایی و محتوای مس و آهن ریشه و همین طور محتوای روی و مس خاک در اغلب موارد معنی دار بود.

جدول (۵ تا ۷) نتایج مقایسه گروهی (اورتوگونال) اثر ریزمغذی ها بر محتوای عناصر غذایی را در اندام هوایی، ریشه و خاک گیاه پونه نشان می دهند. جدول (۵) نشان می دهد بین محلول پاشی ریزمغذی ها و شاهد در محتوای روی و منگنز اندام هوایی و محتوای نیترات و مس ریشه در سطح ۱٪ تفاوت معنی دار وجود داشت. مقایسه محلول پاشی ریزمغذی ها با شاهد و باهمدیگر نشان می دهد به جز محلول پاشی مس با شاهد در اندام هوایی و

جدول ۵. مقایسه اورتوگونال اثر ریزمغذی ها بر محتوای عناصر غذایی اندام هوایی گیاه پونه

مقایسه	محتوای فسفر	محتوای نیترات	میانگین		محتوای آهن
			مربعات	محتوای مس	
	محتوای	محتوای	محتوای	محتوای	محتوای
	فسفر	نیترات	روی	مس	آهن
محلول پاشی ریزمغذی ها <i>vs</i> شاهد	۱/۹۷۵	۶/۱۹۴	۰/۰۲۱**	۰/۱۹۶	۰/۱۶۷
محلول پاشی آهن <i>vs</i> شاهد	۲/۴۲۸	۳/۸۹۷**	۰/۰۱۴*	۰/۰۰۰	۰/۳۵۱**
محلول پاشی روی <i>vs</i> شاهد	۱/۷۳۱	۰/۶۸۲**	۰/۰۵۱**	۰/۰۰۰	۰/۱۷۹*
محلول پاشی مس <i>vs</i> شاهد	۱/۳۳۶	۲/۸۳۹	۰/۰۰۴*	۰/۳۲۷*	۰/۰۹۴
محلول پاشی آهن <i>vs</i> روی	۲/۳۴۶	۱/۶۱۰*	۰/۰۱۳	۰/۰۰۰	۰/۱۰۵
محلول پاشی آهن <i>vs</i> مس	۲/۵۴۲	۱۱/۲۸۰**	۰/۰۰۴	۰/۲۹۴**	۰/۲۰۴
محلول پاشی روی <i>vs</i> مس	۲/۲۶۸*	۶/۱۹۰**	۰/۰۲۷**	۰/۲۸۶**	۰/۰۹۸

** معنی دار در سطح احتمال ۱٪، * معنی دار در سطح احتمال ۵٪ و ns غیر معنی دار
vs به معنای در مقابل است و نشان می دهد که کدام ریزمغذی ها در مقابل یکدیگر مقایسه شده اند.

جدول ۶. مقایسه اورتوگونال اثر ریزمغذی ها بر محتوای عناصر غذایی ریشه گیاه پونه

مقایسه	محتوای فسفر	محتوای نیترات	میانگین		محتوای آهن
			مربعات	محتوای مس	
	محتوای	محتوای	محتوای	محتوای	محتوای
	فسفر	نیترات	روی	مس	آهن
محلول پاشی ریزمغذی ها <i>vs</i> شاهد	۱/۲۷۹	۶/۲۰۱**	۰/۰۰۵	۰/۰۰۴**	۱/۵۴۳
محلول پاشی آهن <i>vs</i> شاهد	۰/۶۰۱	۱/۵۱۴*	۰/۰۰۱	۰/۰۰۱**	۰/۷۵۳*
محلول پاشی روی <i>vs</i> شاهد	۰/۶۰۸*	۱/۱۸۶**	۰/۰۰۱	۰/۰۰۲**	۰/۲۵۱
محلول پاشی مس <i>vs</i> شاهد	۰/۴۵۴	۱۳/۱۸۳**	۰/۰۰۶	۰/۰۰۹**	۱/۹۱۳*
محلول پاشی آهن <i>vs</i> روی	۱/۷۰۹**	۰/۴۲۶	۰/۰۰۳*	۰/۰۰۰	۱/۳۱۷**
محلول پاشی آهن <i>vs</i> مس	۰/۲۹۹	۷/۵۶۳**	۰/۰۰۴	۰/۰۰۵**	۰/۳۴۴
محلول پاشی روی <i>vs</i> مس	۱/۹۶۹**	۶/۴۵۱**	۰/۰۱۰*	۰/۰۰۳**	۲/۵۸۰**

** معنی دار در سطح احتمال ۱٪، * معنی دار در سطح احتمال ۵٪ و ns غیر معنی دار
vs به معنای در مقابل است و نشان می دهد که کدام ریزمغذی ها در مقابل یکدیگر مقایسه شده اند.

جدول ۷. مقایسه اورتوگونال اثر ریزمغذی‌ها بر محتوای عناصر غذایی خاک گیاه پونه

مقایسه	محتوای فسفر	محتوای نیتروژن کل	میانگین		محتوای منگنز	محتوای آهن
			مربعات	میانگین		
محلول پاشی ریزمغذی‌ها <i>vs</i> شاهد	۳۵۵/۳۵۱	۰/۰۰۰	۱۱/۴۲۵*	۱۲/۰۲۵**	۰/۵۰۹	۳/۳۴۷
محلول پاشی آهن <i>vs</i> شاهد	۴۳۰/۴۴۲**	۰/۰۰۱**	۰/۲۳۷*	۰/۲۵۲**	۰/۳۳۸	۲/۶۰۳**
محلول پاشی روی <i>vs</i> شاهد	۴۶/۸۸۲	۰/۰۰۰	۱۶/۹۲۶**	۰/۲۸۸**	۰/۰۱۱	۰/۱۸۷
محلول پاشی مس <i>vs</i> شاهد	۱۴۹/۰۹۹	۰/۰۰۰*	۰/۰۴۲	۲۰/۷۷۷**	۰/۳۲۵	۲/۰۲۷
محلول پاشی آهن <i>vs</i> روی	۲۴۵/۶۶۳**	۰/۰۰۱**	۱۸/۹۳۰**	۰/۰۹۴	۰/۲۴۷	۲/۴۶۳**
محلول پاشی آهن <i>vs</i> مس	۶۳۹/۷۳۱**	۰/۰۰۰	۰/۲۵۹**	۱۶/۵۸۲**	۱/۰۱۰*	۶/۳۹۵**
محلول پاشی روی <i>vs</i> مس	۱۷۵/۷۵۳	۰/۰۰۰	۱۵/۳۹۹**	۱۶/۲۹۷**	۰/۳۴۸*	۱/۷۵۹

** معنی‌دار در سطح احتمال ۱٪، * معنی‌دار در سطح احتمال ۵٪ و ns غیر معنی‌دار
vs به معنای در مقابل است و نشان می‌دهد که کدام ریزمغذی‌ها در مقابل یکدیگر مقایسه شده‌اند.

نتیجه‌گیری

محلول پاشی برگ‌ریزی کودها تغذیه گیاه را تحت کمبود فسفر بهبود می‌بخشد و با ترشح برخی مواد به ناحیه ریزوسفر باعث افزایش قابلیت جذب عناصر غذایی در گیاه شده و اثرات سوء ناشی از کمبود فسفر را در گیاه پونه کاهش می‌دهد، همچنین کاهش به کارگیری کودهای شیمیایی در خاک مانع آلودگی خاک و انباشت کودهای شیمیایی در خاک می‌شود.

تغذیه برگ‌ریزی آهن، روی و مس باعث افزایش معنی‌دار ($P < 0.05$) جذب عناصر غذایی در گیاه پونه در شرایط کمبود فسفر شد. نتایج مقایسه گروهی نشان داد که اثر ریزمغذی‌ها بر محتوای عناصر غذایی در اندام هوایی و ریشه گیاه پونه نسبت به شاهد و نسبت به یکدیگر در اغلب موارد معنی‌دار بود. به نظر می‌رسد

REFERENCES

- Ameziane, R., Cassan, L., Duffosse, C., Ruffy, T. W. and Limami, A. M. (1997). Phosphate availability in combination with nitrate availability affects root yield and chicon yield and quality of Belgain endive (*Cicorium intybus*). *Plant and Soil*, 191, 269-277.
- Asgari Lajayer, H. Savaghebi Firoozabadi, G. R. Motesharezadeh, B. and Hadiyan, J. (2015). Change in uptake of micronutrient and macronutrient in pennyroyal (*Mentha pulegium* L.) at greenhouse condition under copper and zinc application. *Journal of Soil Management and Sustainable Production*, 5(2), 197-210.
- Auld, D. S. (2001). Zinc coordination sphere in biochemical zinc sites. *Biometals*, 14, 271-313.
- Bremner, J. M. (1965). Inorganic forms of nitrogen. In C.A. Blank (Ed.). *Methods of soil analysis*, (Part. 2). (pp. 1179-1232). ASA and SSSA, Wisconsin: Madison.
- Bron, J. C., Amblers, J. E., change, R. L. and Foy, C. D. (2003). Differential response of plant genotype to micronutrients. In J. Mortvedt *et al* (Ed.). *Micronutrients in an agriculture soil science society of America in corporation*, (NO. 2). (pp. 389-418). Wisconsin: Medison.
- Cataldo, D. A., Haroon, M., Schrader, L. E. and Youngs, V. L. (1975). Rapid colorimetric determination in plant tissues by nitration of salisylic acid. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 6, 71-80.
- Chrysargyris, A., Panayiotou, C. and Tzortzakis N. (2016). Nitrogen and phosphorus levels affected plant growth, essential oil composition and antioxidant status of lavender plant (*Lavandula angustifolia* Mill.). *Industrial Crops and Products*, 83, 577-586.
- Esmaili, A., Rustaiyan, A., Masoudi, S. and Nadji, K. (2006). Composition of the Essential Oils of *Mentha aquatica* L. and *Nepeta meyeri* Benth from Iran. *Journal of Essential oil Research*, 18(3), 263-265.
- Gee, G. W. and Baulder, J. W. (1986). Particle- size analysis. In C.A. Blank (Ed.). *Methods of soil analysis*, (Part. 1). (pp. 383-411). ASA and SSSA, Wisconsin: Madison.
- Gupta, V. K. and Singh, B. (1985). Residual effect of zinc and magnesium on maize crop. *Journal of the Indian Society of Soil Science*, 23, 204 -207.
- Hawkesford, M., Horst, W., Kichey, T., Lambers, H., Schjoerring, J., Skrumsager Moller, I. and White, P. (2012). Functions of macronutrients. In H. Marschner (Ed.). *Mineral nutrition of higher*

- plants, (No. 2). (pp. 135-189)..Academic Press: London.
- Hoagland, D. R. and Arnon, D. I. (1950). The water culture method for growing plant without soil. University of California Berkley Press, College of Agriculture, Agricultural Experiment Station, p. 347.
- Jacob, J. and Lawlor, D.W. (1992). Dependence of photosynthesis of sunflower and maize on phosphate supply, ribulose-1, 5-biphosphate carboxylase/ oxygenase activity, and ribulose1,5-biphosphate pool size. *Plant Physiol.* 98: 801–807.
- Jamzad, Z. (2012). Iran flora (Lamiaceae family). Research Institute of Forests and Rangelands (RIFR): Iran. (In Farsi)
- Lindsay, W. L. and Norvell, W. A. (1979). Development of a DTPA soil test for zinc, iron, manganese and copper. *Soil Science Society American Journal*, 42, 421–428.
- Lotfollahi, M. (2003). The role of micronutrients in increasing yield and micronutrients with a large impact. Soil Science Department, Tarbiat Modarres University Press, Tehran, Iran. (In Farsi)
- Malakoti, M. J. and Homaei, M. (2004). The Arid Soil Fertility "Solve Problems and Ways". Second edition. Tarbiat Modarres University Press.
- Malakouti, M. J. and Tehrani, M. M. (1999). The role of micronutrients on increasing the yield and quality of agricultural products. Tarbiat Modarres University Press, Tehran, Iran. (In Farsi)
- Marrin, M. Koko, V., Duletic-Lausevic, S., Marin, P. d., Rancic, D. and Dajic-Stevanovi, C. (2007). Glandular trichomes on the leaves of *Rosmarinus officinalis*: morphology, stereology and histochemistry. *South African Journal of Botany*, 72, 378–382.
- Marschner, H. (1986). Mineral Nutrition of Higher Plants. Academic Press, London.
- Marschner, H., (1995). Mineral Nutrition of Higher Plants. Second edition, Academic Press. Harcourt Brace and Company, Publishers, London, pp. 347-364.
- Marschner, H. (2011). Mineral Nutrition of Higher Plants. Academic Press, New York, p. 899.
- McLean, E.O. (1982). Soil pH and Lime requirement. In C. A. Blank (Ed.). *Methods of soil analysis*, (Part 2). (pp. 199-224). ASA and SSSA, Wisconsin: Madison.
- Moghimi pour, Z., Mahmoudi Sourestani, M. and Alamzadeh Ansari, N. (2016). The influence of foliar application of nano zinc chelate and zinc sulfate on morphological traits of holy basil (*Ocimum sanctum*), indices and photosynthetic pigments. *Journal of Horticultural Science*, 2, 242-250. (In Farsi)
- Mohammadi pour, R., Sedaghatoor, S. and Mahboub Khomami, A. (2013). Effect of application of iron fertilizers in two methods 'foliar and soil application' on growth characteristics of *Spathyphyllum illusion*. *Iranian Journal of Horticulture Science Technology*, 3(1), 232-240.
- Mortvedt, G. G., Giordana, P. M. and Lindsay, W. L. (1972). Micronutrients in agriculture. Soil Science Society of American, Madison: Willey.
- Movahhedy-Dehnavi, M., Modarres Sanavy, S. A. and Mokhtassi Bidgoli, A. (2009). Foliar application of zinc and manganese improves seed yield and quality of safflower (*Carthamus tinctorius* L.) grown under water deficit stress. *Industrial Crop Production*, 30(1), 82-92.
- Mousa, G. T., El-Sallami, I. H. and Ali, E. F. (2003). Response of *Nigella sativa* L. to foliar application of gibberellic acid, benzyladenine, iron and zinc. *Assist Journal of Agricultural of Science*, 32, 141-156.
- Murphy, J. and Riley, J. P. (1962). A modified single solution method for the determination of phosphate in natural waters. *Analytica Chimica*, 27, 31-36.
- Nourgholipour, F., Mirseyed Hosseini, H., Tehrani, M.M., Motesharezadeh, B. and Moshiri, F. (2018). Response to phosphorus deficiency stress among winter rapeseed (*Brassica napus* L.) cultivars. *Iranian Journal of Soil and Water Research*, 94(3), 515-525.
- Olamaei, V., Ronaghi, A. M., Karimian, N. A., Yasrebi, J., Hamidi, R. and Tavajjoh, M. (2013). Comparison of yield, yield components and seed quality (oil and protein content) of two rapeseed cultivars as affected by different levels of soil-applied nitrogen and zinc. *Journal of Science and Technology Greenhouse Culture*, 4(16), 83-98. (In Farsi)
- Olsen, S. R., Cole, C. V., Watanabe, F. S. and Dean, L. A. (1954). Estimation of available phosphorus in soil by extraction with sodium bicarbonate. USDA Circ. Government Print Office: Washington.
- Öncel, I., Keleş, Y. and Üstün, A. (2000). Interactive effects of temperature and heavy metal stress on the growth and some biochemical compounds in wheat seedlings. *Environmental Pollution*, 107(3), 315-320.
- Pahlavan Rad, M., Keykha, G. and Naroui Rad, M. (2008). Effects of application of Zn, Fe and Mn on yield, yield components, nutrient concentration and absorption in wheat grain. *Pajouhesh and Sazandegi*, 79, 142-150. (In Farsi)
- Purnomo, E. and Black, A. S. (1994). Phosphorus fertilizer as affected by time and method of application in soil with acidic subsurface layer. *Fertilizer Research*, 39, 77-82.
- Ravi, S., Channal, H. T., Hebsur, N. S., Patil, B. N. and Dharamtti, P. R. (2008). Effect of sulfur, zinc and iron nutrition on growth, yield, nutrient uptake and quality of safflower (*Carthamus tinctorius* L.). *Karnataka Journal of Agricultural Sciences*, 21, 382-385.
- Roades, J. D. (1990). Soluble salts. In C. A. Blank (Ed.). *Methods of soil analysis*. (Part. 2). (pp. 167-179). ASA and SSSA, Wisconsin: Madison.
- Roosta, H. and Mohsenian Y. (2012). Effects of foliar spray of different Fe sources on pepper (*Capsicum annum* L.) plants in aquaponic system. *Scientia Horticulturae*, 146,182–191.

- Salim, N. 2000. Symptoms of nutrient deficiency in fruit trees. Management of Agricultural Promotion, First Edition. 10-13p.
- Seadh, S. E., El-Abady, M. I., El-Ghamry, A. M. and Farouk, S. (2009). Influence of micronutrients foliar application and nitrogen fertilization on wheat yield and quality of grain and seed. Journal Biological Sciences, 9(8), 851-858.
- Sial, N. B., Rajpar, I. and Solangi, S. (2005). Effects of foliar application of Zn on growth, yield and fiber characters of two cotton (*Gossypium Hirsutum* L.) varieties. Pakistan Journal of Agricultural Engineering and Veterinary Sciences, 21, 11-16.
- Taylor, M. D., Nelson, P. V., Frantz, J. M. and Rufty, T. W. (2010). Phosphorus deficiency in pelargonium: effects on nitrate and ammonium uptake and acidity generation. Journal of Plant Nutrition, 33, 701-712.
- Thiruppathi, M. K., Thanunathan, K., Ganapathy, M., Prakash, M. and Imayavaramban, V. (2001). Nutrient uptake and quality characters of sesame (*Sesam unindicum* L.) as influenced by micronutrients, biofertilizer and phytohormones. Sesame and Safflower News, 16, 51-56.
- Walker, R. R., Blackmore, D. H., Clingeleffer, P. R. and Correll, R. L. (2004). Rootstock effects on salt tolerance of irrigated field-grown grapevines (*Vitis vinifera* L. cv. Sultana) 2. Ion concentrations in leaves and juice. Australian Journal of Grape and Wine Research, 10, 90-99.
- Walkley, A. and Black, L. A. (1934). Examination of the Degtjareff method for determining soil organic matter and a proposed modification of chromic acid titration method. Journal of Soil Science, 37, 29-38.
- Yassen, A., Abou El-Nour, E. A. A. and Shedeed, S. (2010). Response of wheat to foliar spray with urea and micronutrients. Journal of American Science, 6, 14-22.
- Zhang, F. S. (1993). Effect of Cu deficiency on Zn uptake rate of wheat plants. Acta-Pedologica Sinica, 235, 129-134.